# バイポーラ・トランジスタの使いかたを考える（17）

## 新しい電源トランスの設計と正しい使いかた

石塚　峻

### 1次2次とも直列使いでは励磁電流の差を補正する必要がある

11月号のP.124の第2図は，“好ましいトランスの考えかた”としてあります．磁束密度を半減させるのに最も手取り早い方法は1次電圧を半分にする，という説明のつもりでおりました．

ところが，斉木氏から，「第2図のように1次側を直列にしたところ電圧値がアンバランスになってしまう」と苦情がありました．

つまり，**第1図**のように1次側が100Vで2次側が16Vならば，**第2図**のように直列にするとそれぞれの1次側に50Vずつ振り分けられて，おのおのの2次側に8Vずつになるはずが，一方が6.5Vで，もう一方が8.5Vになったということなのです．まさか，ほんとうに1次側と2次側を直列にするとは思っていなかったので，少しあわてました．

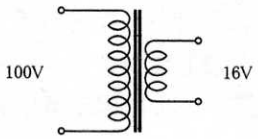
もうひとつは，ある“音を聴く会合”で，機器の前に1kVAくらいの絶縁トランスが入っていました．1次側も2次側も100Vのものです．

「こんなものを入れると中低域の音がやせるよ」といってはずしてもらうと，内声部だけでなくベースまでも消えていたのです．

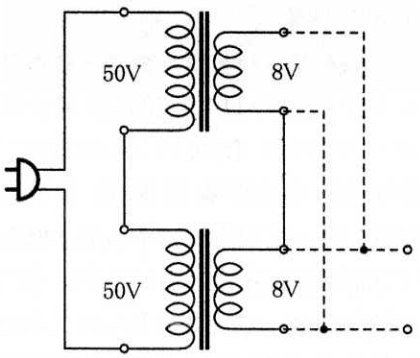
コア材の$\mu$を大きくしようとして磁束密度を大きくとったトランスはかならずこうなる，磁束密度が大きくできる高性能コアほど極端なのだ，と説明申し上げました．

“なるほど”と一同納得されたのですが，その後がいけませんでした．同じ絶縁トランスを3個持っているから，2個さらには3個シリーズにするつもり，といい出したのです．Tさんでした．ほんとうにやりかねないかたです．

一見して簡単そうな方法には飛びつくものだ，と少し困ったので，ホワイト・ボードを出してもらい説明させていただきました．1次側と2次側をそれぞれ直列にするのは，やってもいいけれど，条件があるのです．それはコアのバラつきに起因した励磁電流の違いを補正するという条件です．




〈第1図〉こういう表示のあるトランスはどう使えるのか

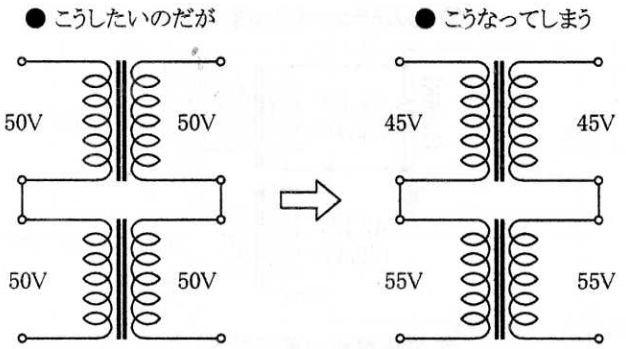



〈第2図〉1次2次を直列にすれば，それぞれ50Vと8Vになるはずだが，それは励磁電流が等しい場合に限られる

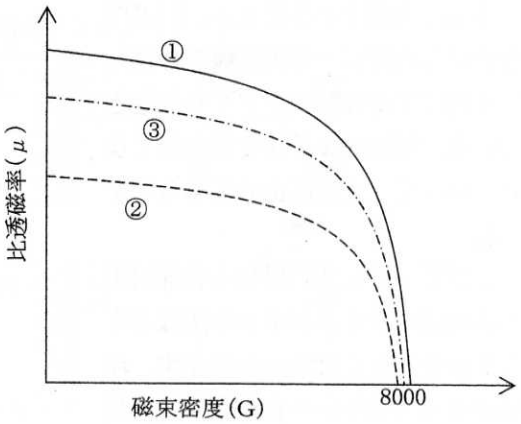
1次2次とも100Vの絶縁トランス，当然同一銘柄の同一規格の2個に，それぞれ100Vの1次電圧を与えます．1次側をパラにしておいて厳密に同一条件にしたうえで，それぞれ2次側の無負荷電圧値を測ってみると，誤差範囲で同一値です．同一定格ですから当然で，巻線数も同一ならば，同一のコアを同じ枚数入れてあるのです．

こんどは，1次側を直列にし，2次側も直列にします．期待される状態は，それぞれAのトランスとBのトランスの1次巻線と2次巻線の端子電圧は，ちょうど電灯線交流電圧の2分の1である50Vずつになっているだろうと思われるでしょう．斉木さんも，Tさんも同じ期待をしていたわけです．

これはトランスの専門家ならば，「何てことするんだ」とまゆをひそめる行為なのです，実は．**第3図**のように，きれいに1次電圧が半分に分割する確率はゼロに近いのです．現実には見事にアンバランスになり，一方だけが発熱することもよくあるのです．




〈第3図〉絶縁トランスを直列にした場合なかなか期待どおりには働いてくれない




〈第4図〉①値はリボン状の巻鉄心で定義されたもの．高μのコアほど打抜きによって②のようになり，熱処理しても③までしか戻らない

なぜかというと，トランスというものは2次側オープンでも1次側巻線には励磁電流というものが流れ，コアを磁化しているからです．励磁電流はコアの透磁率（μ）によって異なった値を示し，μの大きな高性能コアほど小さくなるのです．

そして，これは磁束密度によっても変化します．コアのμ値は，ごく薄いリボン状の巻鉄芯にして測ったものです．それなりの厚みを持った板状に作ると，部分によってμ値は異なります．

さらに，高性能コアほど極端なのですが，プレスしてEIコアやLコアなどに打ち抜くと，μはガタッと落ちてしまいます（**第4図**）．安物のコアでは熱処理しない場合もありますが，オリエント材以上ではかならず熱処理してこの落ち込みを少しでも抑えようとします．

それでも完全に戻ることはなく，リボンで作った巻鉄芯のレベルにはどうしてもなりません．はっきりいえば，抜きコアなどは1枚1枚が違ったμ値を持っているのです．現実のトランスは，積まれたコアの積分平均値でできており，同一ロットの製品でも，1個1個違った励磁電流になっていて当然なのです．

ついでにいいますと，コアのμが異なるわけですから，1次インダクタンス値にも個体差が出て当然なのです．

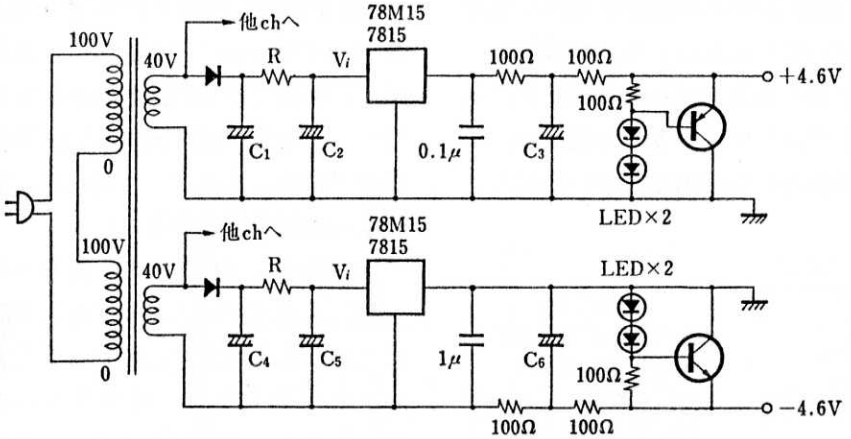
1次巻線を並列にすると，それぞれのトランスごとに，異った励磁電流を流すことができますからよいのですが，直列にすると同一電流になってしまいます．すると，磁束密度が変化せざるを得ませんから，それぞれの端子電圧が変ってしまうわけです．

**第2図**点線のように2次側だけを並列にすると，そこはトランスで，2次側電圧は一定ですから，励磁電流のアンバランス分も2次側に流れることにより，1次電圧は2分割されます．

私は，87年7月に発表したイコライザ・アンプで，1次側を直列にして磁束密度を下げて，1次側を独立させていますが（**第5図**），当然，無負荷では1次電圧が2分割にはならず，2次側を一定電流にしたうえで，電流値をコントロールして1次電圧をちょうど2分割にしています．

もし，どうしても1次2次とも直列にしたければ，**第6図**④⑤のように1次側電圧の大きい方に励磁電流の違いの分だけの負荷を余分につないでやりますが，2次側の負荷によって電圧値が変化しますから，一定の電流負荷である必要があります．

結局は，そう簡単に都合よくはいかないのです．ひところは，1次電圧が200Vのトランスが数多く出回っていて，特注してもさほどの値段ではなかったのですが，いまではそれなりの工夫が必要になりました．




C1～C6：1000～2500μ/35～50V
R：Viが18～20Vになるように決める（本機では100Ω）
78M15, 7815：要放熱器

〈第5図〉1987年7月号に発表したイコライザ・アンプ．トランスの使いかたに注意

## 整流してから並列にする

私は，BW-PP-5KというOPTを設計した際に，2次巻線を分割して並列にする分割サンドイッチ巻きという，常識的な手法を使いたくないといって，実際に止めてもらいました．

インピーダンスの異なる巻線同士を並列にするサンドイッチ法はどうしてもやりたくなかったのです．理由はひとつだけ，“音が悪い”，具体的にいえば，音が詰ってしまうからなのです．

巻線を並列にしてはいけないのは電源トランスの場合も同様で，あるいはOPT以上であり，別コアのコイルを並列にしてもまずいのは同じことです．

こういう場合は，**第7図**のようにいったん整流回路を通せばいいのです．一見すると，両波整（2相半波）と思えるかも知れませんが，2つの巻線はコアから独立していますから，単なる単相の半波であり，直流磁界を持ってしまいます．

ではどうするかといえば，プラス・マイナス2電源にするか，倍電圧電源にしたのち並列にするか，いずれかになります（**第8図**）．私の行った工夫はこの程度のものです．

## 安くつくるのではなく，音を悪くしない設計が必要

真空管アンプの場合，OPTのコストはPTの2倍以上が常識でした．しかしどう理屈をつけても，OPTよりも数倍は大きい電力を扱う電源トランスがOPTの半額以下，というのはおかしいのです．電源トランスは安物でいいと安易に考えるから，アンプの音はよくならないのです．

安く上げるための工夫は，まず磁束密度をギリギリまで高くしてコアの断面積を抑え，巻線をできる限り短かく設計することです．

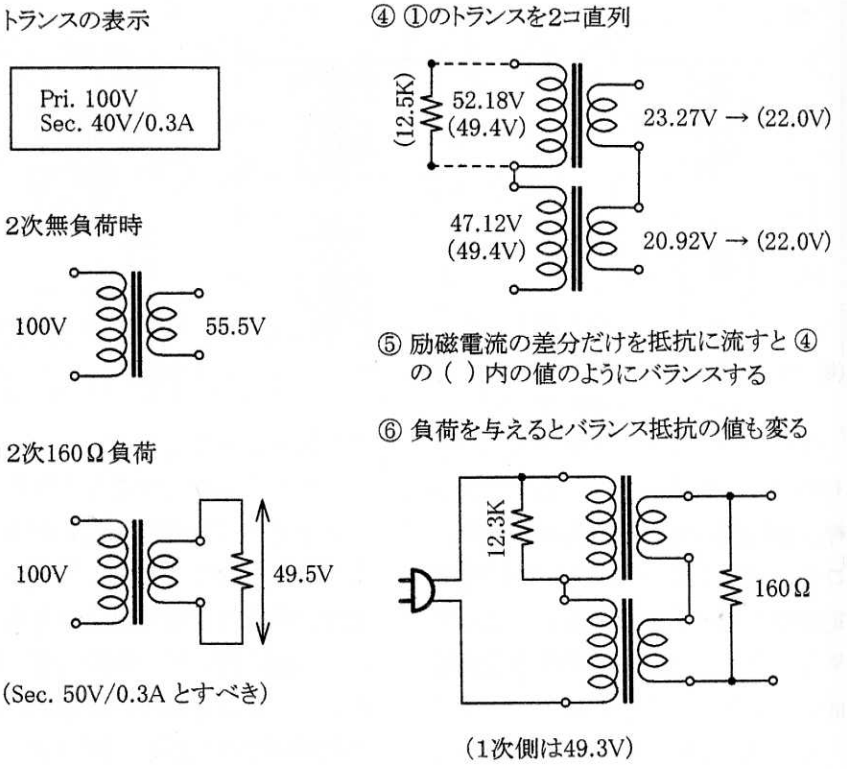
「電源トランスは安くなければ誰も買ってくれない」と，20数年前，私と等々力光水さんを呼びつけたあるトランス・メーカーの社長は，試作を拒否した理由をこういい放ちました．私も等々力さんも“無償で提供しろ”などとはいってないのに，です．おそらく，音のよさを前提にするとトランスは安くならないということが明らかになるのが，商売にとって好ましくないと考えたのでしょう．

トランスの製造原価を下げるために，してはならない方法をとることがあります．

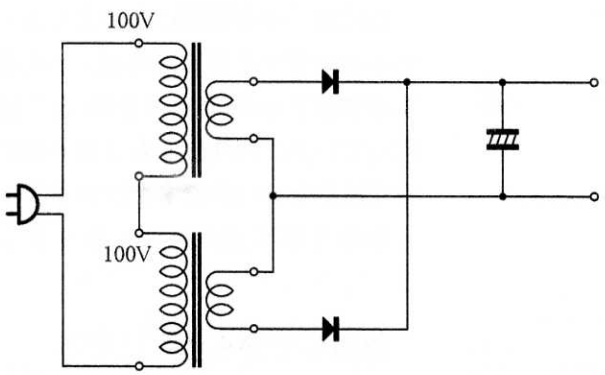
BW-PP-5Kのコア組みは，紙＝スペーサを入れていることもあって，1台あたり30分はかかるはずです．しかし，紙を入れない，単純なコア積みであれば，手慣れた作業員ならば数分とかかりません．

大部分のCコアだけを両方から一気に入れていき，Iコアをスキ間にスルリと入れます．残りは少しずつ入れておしまい．見事なものです．しかし，これは“高級”なオリエント・コアを使った原価の高いOPTだからできることなのです．

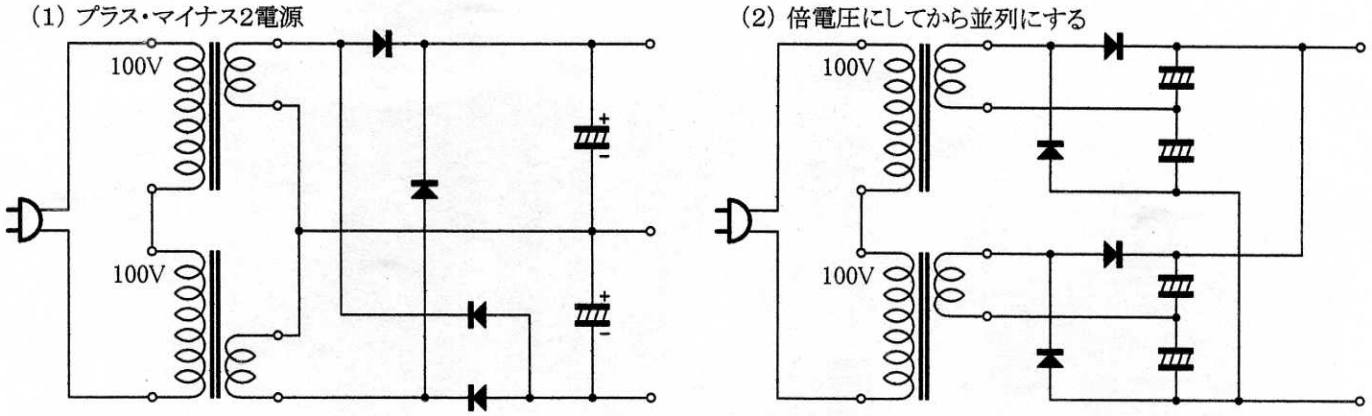
製造コストをギリギリに下げなけ




〈第6図〉第5図で使用したトランスを使っての実測値．これからすると，このトランスの表示は50V/0.3Aとすべきだったことがわかる．




〈第7図〉
音の点からは2次をいきなり並列にせず，いったん整流してから並列にする．ただし，これでは各トランスは半波整流となる




〈第8図〉1次，2次巻線を直列にする場合の正しい方法

ればならない安価なトランスではどうするか．全部のコアを一度に強引に入れ込むのです．当然納まるわけがなく，はみ出しますから，ハンマーで叩いて押し込むのです．

ハンマーでコアを叩くのがいいのかといえば，絶対にやってはいけないはずです．パーマロイなら1巻の終わり，オリエント材だってダメに決まっています．ハイライト材の，それも安価でもともとμが高くならないものを使いたがるのは，コア組みの時間を短縮したい，ハンマーで叩いてもいいから，というコスト第一主義によるものです．

パーマロイ・コアですら，プラスチック・ハンマーで叩くといった勇気あるメーカーもありました．「ウチは良心的なので鉄のハンマーではなく，木づちを使ってゆっくりやる」と自慢（？）したところさえありました．

この話は，中国ではなく，この日本でのことなのです．となれば，安いトランスは，コアのμがデータ以上に落ちているという前提で使うのが当然でしょう．音のよし悪しなど考えの外なのです．

## 新トランスによる試作電源回路

私は整流直後に増幅回路の電源端子をつなぐことはほとんどありませんでした．しかし，Opアンプはもちろんのこと，極めてシンプルなディスクリート回路であっても，整流電源のリプル電圧が増幅回路の出力に現われることなどありません．

ただ，半波整流は電源電圧の直流変動がとても大きく，いわゆるレギュレーションがよくない電源です．さらに“抵抗インプット整流”になると，この変動は極端を通り越しています．

つまりは，シャント・レギュレータを入れるかして電源電圧を安定化する必要があったわけです．しかし何度となく申し上げたとおり，整流電源特有の音――とくにトランスの音――は安定化回路で抑え込むことはできません．また，電池電源は整流電源に劣る，とは以前からいい続けたとおりです．

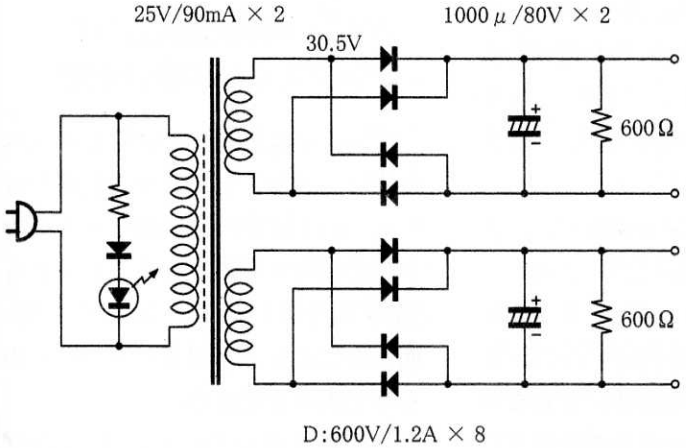
トランス試作の一環として，Opアンプを含む増幅段用のトランスができてきました．

2次巻線は25V/0.09Aが2回路ですから，合計して4.5VAという最も小さい部類です．しかしながら，25Vの2巻線を完全にバランスさせています．当然ですが，磁束密度は半減させていますし，90mAにしては極めて太い巻線径になっており，磁束を下げたことによる銅損増加に対処させています．

シールドは対コアの2カ所に，万全の形で施しています．さらに，使ったコアは最上等のオリエント・コアです．よほどのことがない限り，いわゆるヒータ・トランスにはふつうハイライト・コアの安価なものが使われています．

おまけに，2次巻線を包み込むように1次巻線を2分割してあり，先ほどもいったとおりに2つの2次巻線はバランスさせてあるのです．

さらに，巻線の帯電防止策を施してありますが，これは人工衛星に載




〈第9図〉
試作トランスを使った整流平滑回路．8コのダイオードの順方向電圧$V_F$は厳密に揃えること